

MAKSIMIVOIMAMITTAUKSEN LANGATTOMAN KIIHTYVYYSANTURIN SUUNNITTELU

Harri Haataja

2010

Oulun seudun ammattikorkeakoulu

MAKSIMIVOIMAMITTAUKSEN LANGATTOMAN KIIHTYVYYSANTURIN SUUNNITTELU

Harri Haataja

Opinnäytetyö

22.9.2010

Tietotekniikan koulutusohjelma

Oulun seudun ammattikorkeakoulu

Koulutusohjelma

Tietotekniikan koulutusohjelma

Opinnäytetyö

Insinöörityö

Sivuja +Liitteitä

20 0

+ —

Suuntautumisvaihtoehto

Elektroniikan suunnittelu ja testaus

Aika

25.5.2011

Työn tilaaja

Oulun seudun ammattikorkeakoulu
Tekniikan yksikkö
HYTKE

Työn tekijä

Harri Haataja

Työn nimi

Maksimivoimamittauksen langattoman kiihtyvyysanturin suunnittelu

Asiasanat

Kiihtyvyysanturit, langaton tiedonsiirto, liikkeen mittausta, voimaharjoittelu

Yhden toiston maksimia (1-RM) käytetään voimaharjoittelussa kehityksen ja tasapainon seurantaan sekä harjoittelumenetelmän tehokkuuden arviointiin. Yhden toiston maksimivoimaa voidaan arvioida mittaamalla liikkeen suoritusta pienempää vastusta käyttäen. Mittauksessa voidaan soveltaa järjestelmää, joka voi tallentaa liikkeen hetkellisiä kiihtyvyystietoja.

Opinnäytetyössä kartoitettiin mahdollisuuksia käyttää digitaalista kiihtyvyysanturia ja radiota hetkellisen kiihtyvyystiedon välittämiseen. Työn aikana rakennettiin ohjelmisto järjestelmään, jolla voidaan mitata ja tallentaa hetkellisiä kiihtyvyysarvoja. Työn lähtökohtana oli aiempi mittausjärjestelmä. Työssä esitellään käytettyjä menetelmiä, työkaluja ja mittausjärjestelyjä sekä arvioidaan toteutetun kokonaisuuden soveltuvuutta maksimivoimamittaukseen.

Valmistunutta ohjelmistoa ja laitteistoa testattiin ja verrattiin muihin vastaaviin toteutuksiin. Järjestelmän todettiin sopivan liikkeen mittaukseen. Järjestelmää on mahdollista kehittää edelleen.

SISÄLTÖ

TIIVISTELMÄ.....	3
TERMIT.....	5
1 JOHDANTO.....	7
2 ALUSTAN VALINTA.....	9
3 OHJELMISTOKEHITYSTYÖKALUJEN VALINTA.....	12
4 MITTALAITEPROTOTYYPIN VALMISTUS.....	14
4.1 Radiotien testaus.....	14
4.2 Käyttökelpoisempi tukiasema.....	15
4.3 Chronos-version toteutus.....	15
4.4 Maksimivoimamittareiden testaus.....	16
4.5 Maksimivoimamittarin testitulokset.....	16
5 YHTEENVETO.....	18
LÄHTEET.....	19

TERMIT

802.14	lyhyen kantaman langattomien verkkojen standardijoukko, joka sisältää mm. Bluetooth- ja Zigbee-tekniikat
AVR	Atmelin kontrolleriperhe
GCC	GNU Compiler Collection on Free Software Foundationin projekti, jonka tarkoituksena on tuottaa riippumaton ja rajoitukseton ("vapaa") kääntäjä. GCC toimii useissa järjestelmissä ja tuottaa koodia useille eri prosessoriarkkitehtuureille.
GNU	GNU (GNU is Not Unix) on Free Software Foundationin projekti, jonka tarkoituksena on tuottaa riippumaton ja rajoitukseton ("vapaa") käyttöjärjestelmä.
I ² C	Inter-Integrated Circuit -väylä on Philipsin (nyk. NXP) kehittämä synkroninen sarjamuotoinen tietoliikenneväylä. I ² C on suosittu laitteiden sisällä varsinkin mikrokontrollerien ja lisälaitteiden välillä.
ISM	ISM-taajuusalue (Industrial, Scientific and Medical) on joukko kansainvälisesti sovittuja radiotaajuuskaistoja, joiden käyttö ei vaadi erillistä lupaa. ISM-taajuudet on alun perin tarkoitettu teolliseen, tieteelliseen ja lääketieteelliseen käyttöön.
MinGW	Minimal GNU for Windows sisältää kääntäjän ja kirjastot, joiden avulla voidaan tehdä Windows-sovelluksia käyttäen GCC-projektin kääntäjiä. MinGW on enimmäkseen yhteensopiva muiden GCC- ja cc-tyylisten kääntäjien kanssa. Sisältää myös muita GNU-työkaluja kuten make, gdb ja bash.

MSP430 TI:n kontrolleriperhe

SPI Serial Peripheral Interface Bus on synkroninen sarjamuotoinen tietoliikenneväylä. SPI on suosittu laitteiden sisällä varsinkin mikrokontrollerien ja lisälaitteiden välillä.

TWI Atmel käyttää I²C-yhteensopivasta väylästä nimitystä Two Wire Interface.

WinAVR WinAVR on GCC (avr-gcc) levitysversio Windows järjestelmiin, joka tuottaa AVR arkkitehtuurilla ajettavaa koodia. WinAVR on yhteensopiva muiden avr-gcc-kääntäjien kanssa.

1 JOHDANTO

Yhden toiston maksimia (1-RM) käytetään voimaharjoittelussa kehityksen ja tasapainon seurantaan sekä harjoittelumenetelmän tehokkuuden arviointiin. Yhden toiston maksimivoimaa voidaan arvioida mittaamalla liikkeen suoritusta pienempää vastusta käyttäen. Mittauksessa voidaan soveltaa järjestelmää, joka voi tallentaa liikkeen hetkellisiä kiihtyvyystietoja. (1, s.1.)

Mittauksissa on aiemmin käytetty analogista kiihtyvyyssanturia (2, s.2). Analogisen anturin käyttö on osoittautunut ongelmalliseksi. Ongelmat johtuvat lähinnä siirtotiestä. Anturin signaali on lähetetty pitkähköä kaapelia käyttäen mittalaitteelle. Tämän kaapelin olemassaolo vaikuttaa anturin liikkuvuuteen ja asentoon ja sen kautta tuloksiin. Koska anturi on tarkoitus kiinnittää ihmiseen, on kaapelointi myös epämukava käytössä. (3.)

Mitattu analoginen signaali sisältää myös paljon häiriöitä. Osa häiriöistä johtuneet anturin liikehdinnästä. Osa taas on kaapeleiden ja analogisen signaalin keräämää sähkömagneettista häiriötä. Kiihtyvyystiedon digitointi olisi suotavaa tehdä mahdollisimman aikaisessa vaiheessa. Tällöin siirtotiet voitaisiin pitää kauttaaltaan digitaalisina. Digitaalisesta signaalista sähköiset häiriöt suodattuvat yleensä pois vastaanotossa. (3.)

Opinnäytetyön tarkoitus on kartoittaa mahdollisuuksia käyttää digitaalista kiihtyvyyssanturia ja radiota hetkellisen kiihtyvyystiedon välittämiseen. Työn tavoitteena on rakentaa ohjelmisto järjestelmään, jolla voidaan mitata ja tallentaa hetkellisiä kiihtyvyyssarvoja. Työn lähtökohtana on aiempi mittausjärjestelmä. Työssä esitellään käytettyjä menetelmiä ja työkaluja sekä mittausjärjestelyjä ja arvioidaan toteutetun kokonaisuuden soveltuvuutta maksimivoimamittaukseen.

Maksimivoimamittari (Maximum Strength Technology, MST) on ranteeseen kiinnitettävä langaton mittalaite. Hyvinvointiteknologian tutkimus- ja tuotekehityskeskus (HYTKE) on kehittänyt laitetta vuodesta 2004 alkaen kuntosaliharrastajien käyttöön. MST mittaa käyttäjän käden liikettä ja välittää tiedon tietokoneohjelmalle, joka analysoi liikkeen kiihtyvyys- ja suuntatietoja. Näiden perusteella ohjelma antaa palautetta suorituksesta. Tietoja voidaan myös tallentaa myöhemmin tutkittavaksi. Laite on tarkoitettu sekä aloitteleville kuntosaliharrastajille että ammattitreenaajille voimaharjoittelun mittaamiseen ja analysointiin. (4, s.1.)

Työn tilaaja, HYTKE, on osa hyvinvointiteknologian koulutusohjelmaa Oulun seudun ammattikorkeakoulussa. HYTKEn laitteita ja ohjelmistoja käytetään hyvinvointiteknologian tutkimiseen, tuotekehitykseen, testaamiseen ja opettamiseen. Laboratoriossa on laitteita ja ohjelmistoja ihmisen mittaamiseen, käytettävyyden tutkimiseen ja prototyyppien suunnitteluun sekä valmistamiseen. HYTKE tekee läheistä yhteistyötä alan yritysten ja toimijoiden kanssa. Hyvinvointiteknologian opiskelijat käyttävät HYTKEn laitteita opinnoissaan ja heidän on mahdollista suorittaa opintoihin kuuluvia projekteja, harjoitteluja ja opinnäytetöitä HYTKElle. (5, s.1.)

2 ALUSTAN VALINTA

Langattoman mittausjärjestelmän kehitystä varten tarvitaan edullinen alusta. Alustaan tulee olla liitettävissä tarvittavat lähettimet ja vastaanottimet tiedon siirtämiseen langattomasti liikkuvasta kohteesta järjestelmään, joka tulkitsee mittaustulokset. Kiihtyvyyssanturin signaalin digitointi olisi myös suotavaa tehdä mahdollisimman lähellä itse anturia. Järjestelmän keskeiset komponentit ovat siis digitaalinen kiihtyvyyssanturi, radio ja tarvittava liitäntä näiden välille. Liitäntä vaatii todennäköisesti mikrokontrollerin. Myös analogisen anturin käyttö on mahdollista, jos A/D-muunnos saadaan tehtyä anturiyksikössä. (3.)

Kehitysalustaksi oli työn lähtötiedoissa ehdotettu Nanotron Technologies GmbH (myöh. Nanotron) valmistamaa paikannuskäyttöön suunniteltua nanoLOC-radiojärjestelmää (kuvassa 1). Järjestelmän kehitystyökalut ovat jo käytössä Oulun seudun ammattikorkeakoulun tekniikan yksikössä. Laitteita on käytetty muun muassa radiopaikannuksen tutkimiseen (6; 7).



KUVA 1. Nanotron devkit (8, s.2)

Nanotron alustan lisäksi huomattiin Texas Instrumentsin julkaisseen Chronos-kehitysjärjestelmän. TI valmistaa myös muita radiokomponentteja, joiden käyttö voisi olla mahdollista. Vastaavia järjestelmiä löytyy myös muilta valmistajilta, mutta nanoLOC ja Chronos vaikuttivat tässä vaiheessa otollisimmilta.

Lupaavimmaksi ehdokkaaksi todettiin Chronos. Laite sisältää halutun kiihtyvyysanturin, mikrokontrollerin ja radion rakennettuna rannekelloon sekä ohjelmointilaitteen ja USB-liitäntäisen tukiaseman tiedonsiirtoon laitteen ja tietokoneen välillä (kuva 2). Chronos-laitteita ei kuitenkaan ollut tässä vaiheessa saatavilla.



KUVA 2. Chronos devkit (9, s.1)

Mikäli Chronos-kitti on joskus saatavissa, toteutettu järjestelmä on tarkoitus saada toimimaan myös sillä. Lopputuloksen olisi siis suotavaa olla helposti muutettavissa toimimaan muiden vaihtoehtoisten järjestelmien kanssa. Riittävän avoimet rajapinnat ja ohjelman tavanomainen toiminta auttavat tässä. Tukiasemat eivät luultavasti ole kovin yhteensopivia, joten vastaanottavassa päässä tarvitaan jonkinlainen sovitin.

Vaihtoehtojen ominaisuuksia on verrattu taulukossa 1. Nanotronissa mahdollisia heikkouksia ovat koko, virran kulutus ja tarvittavat jännitteet (8, s.1). Chronos-kitillä taas saatavuus ja suhteellisen vieras MSP430-prosessori. MSP430 on on tunnettu vähäisestä virrankulutuksesta ja tehokkaasta toiminnasta pienissä paristo- tai akkukäyttöisissä laitteissa (10, s.1-2).

TAULUKKO 1. Nanotron ja Chronos vertailu

	Nanotron NanoLOC (8)	Texas Instruments EZ430- Chronos (9)
Virtalähde	Ei valmiina	CR2032
Radiojärjestelmä	ISM 2.4 GHz	ISM 433/868/915 MHz
Virta (radio aktiivisena)	30 mA / 33 mA	18 mA / 33 mA (8, sivut 72-77)
Virta (standby)	1.2 μ A	2 μ A (11, s.1)
Liitäntä tietokoneelle	SPI / USB	USB
Tuotantovaihe	Tuotannossa (2006)	Julkaistu joulukuussa 2009

Tarkoituksena on tehdä MST-laitteesta rinnakkain versioita käyttäen Nanotron-, Chronos- ja mahdollisesti myös muita alustoja. Näistä voidaan myöhemmin valita sopivin versio jatkokehitykseen. Tämä työ käsittelee Nanotron toteutusta.

3 OHJELMISTOKEHITYSTYÖKALUJEN VALINTA

Nanotronin omat demot käyttävät MinGW32- (gcc) ja winavr- (avr-gcc) kääntäjiä. Työssä päätettiin käyttää näitä, mikäli mahdollista. Molemmat ovat tekijälle tuttuja GCC-ympäristöjä. (12; 13.)

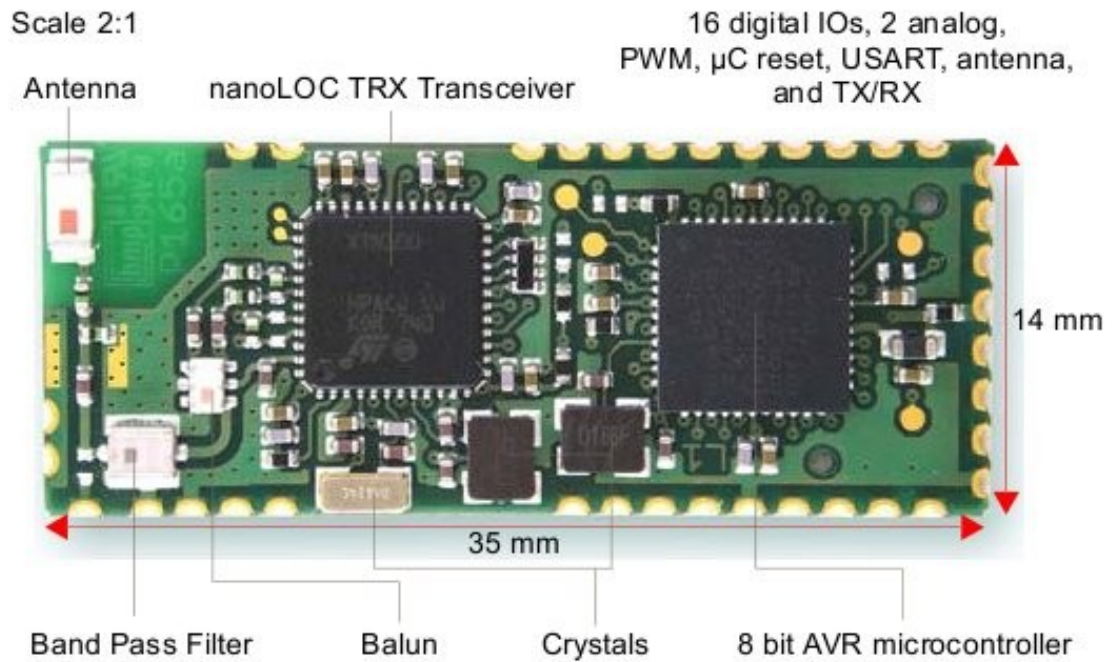
Kääntäjän valinnan takia työympäristöön voi vaikuttaa hyvin paljon. Sekä avr-gcc että mingw32 (gcc) löytyvät myös Debianista, joten kehitys onnistui saumattomasti osan ajasta GNU/Linux- ja osan ajasta Windows-ympäristössä (14; 15). Ympäristöön oli helppo lisätä myöskin versionhallinta (mercurial). Lopputulos on Windows-sovellus ja AVR-firmware, joiden testaus ja käyttö onnistuvat myös molemmissa ympäristöissä.

Windows-työasemaa varten kirjoitettiin BAT-tiedostot, joilla asetetaan %path%- ja %lang%-muuttujat. Muutoin MinGW:n (versio 4.5) asennus sujui valmistajan ohjeiden mukaisesti.

Demoista löytyvä Makefile toimi lähes muutoksitta ja AVR-piirien ohjelmointi onnistui avrdude ohjelman ja USB-ASP-ohjelmointilaitteen avulla.

Laitealustana käytettiin valmista moduulia (myöhemmin ”node”). Moduulissa on virransyöttö kahdelta AA-kokoiselta paristolta, Nanotronin nanoLOC-radiomoduuli (kuvassa 3) ja AVR-ISP-ohjelmointiliitin sekä MMA7455-kiihtyvyysanturi (tästedes ”anturi”).

NanoLOCin AVR-moduuli on pieni (35 mm x 14 mm x 3 mm) piirilevy, joka sisältää ATMEGA644-mikrokontrollerin ja nanoLOC TRX -lähetin-vastaanotinosan sekä antennin.



KUVA 3. Nanotron nanoLOC-moduuli (5, s.1)

Majakoissa on käytössä ATMEGA128-mikrokontrolleri, joka on suurimmaksi osaksi yhteensopiva ATMEGA644-mallin kanssa. Kaikki demot on tehty kehitysjärjestelmään kuuluvalla majakalle ja niitä joutuu hiukan muuttamaan noden kontrolleria varten.

Nanotron-kitin mukana tulee joukko esimerkkiohjelmia (8, s.2). Näiden lisäksi olivat saatavilla ajurit kiihtyvyyssanturille ja TWI-väylälle, joita on käytetty paikannusprojekteissa (6; 7). Nanotron paikannusdemo on ainoa, joka sisältää lähdekoodia USB-tukiasemaa varten. Ping-demo sisälsi yksinkertaisimman esimerkin radiotien käytöstä.

Ennen ohjelmoinnin aloittamista varmistettiin, että tarvittavat esimerkit kääntyvät oikein ja ohjelmointilaite toimii. Tämän jälkeen testattiin myös ping-demon toiminta majakoilla, joille se on tarkoitettu.

Noden testaus on hankalaa, koska ainoat käytettävissä olevat IO-liitännät ovat radio ja LED. LED lähinnä näyttää, ettei ohjain ole jumissa.

4 MITTALAITEPROTOTYYPIN VALMISTUS

Työn tavoitteena on selvittää onko radioteitse siirretty tieto kaikin puolin riittävä sovellukselle. Muita selvitettäviä asioita ovat mm. kuinka nopeasti mittaus voidaan tehdä, kuinka nopeasti tulos saadaan sovellukselle ja millä tavoin tiedonsiirto kannattaa toteuttaa. Kiihtyvyysanturin kaikkien kolmen akselin arvo pitää lähettää riittävän usein. Aiemmin mittauksissa on onnistuneesti käytetty 200 Hz näytteenottotaajuutta, joten näytettä kohden on käytettävissä arviolta 5 ms aikaa (1, s.1).

4.1 Radiotien testaus

Lopullisen kaltaisen järjestelyn kehittäminen suoraan olisi vaatinut monen osan toimimaan saamisen yhtä aikaa. Järkevämpää oli jakaa ongelma osiin ja testata yhtä komponenttia kerrallaan sikäli, kun se oli mahdollista.

Lähettimen kehityksen ensimmäisen vaiheen tarkoitus oli saada radio lähettämään jotain tietoa, jonka tukiasema ottaisi vastaan. Ensimmäisessä versiossa käytettiin majakkaa, jossa on sarjaportti ja ledejä. Radion oletettiin toimivan samalla tavalla myöhemmin nodella, jossa on erilainen kontrolleri. Sovellus on tässä vaiheessa hyvin yksinkertainen ja tällä kokeilulla pitäisi selvittää radion toimivuus.

Järjestelmää testattiin kahdella majakalla. Testissä lähetin ja vastaanotin toimivat odotusten mukaisesti. Testauksen jälkeen lähetinohjelma muokattiin m128-alustalta m644-alustalle sopivaksi. Saatua paikannusprojektin oamklocation-koodia käytettiin mallina paikoittain. Tästä saatiin myös TWI- (I^2C -) ja MMA-ajurit, jotka lisättiin noden koodiin. Lopulta ohjelma lähettää anturilta saatavat lukemat säännöllisesti tukiasemalle. Tässä vaiheessa kiihtyvyysanturin lukemia saatiin siis langattomasti siirrettyä tietokoneelle.

4.2 Käyttökelpoisempi tukiasema

Radiotien testausvaiheen jälkeen todettiin, että seuraavaksi tukiasema kannattaa yrittää korvata alkuperäisen suunnitelman mukaan USB-SPI-sovittimella. Ainakin tähän testaus- ja vertailukäyttöön kiihtyvyysanturi ja sen antamat lukemat näyttivät sopivilta.

USB-tukiasemaa varten piti vaihtaa alustaa täysin. USB-laite ei sisällä kontrolleria vaan radiota ohjataan suoraan Windows-sovelluksesta. Ainoa malliesimerkki ja sopiva ajuri löytyivät paikannusdemosta. Siitä piti riisua huomattavat määrät koodia, mutta lopulta majakan vastaanotinsovellus saatiin sovitettua sille. Ohjelma tallentaa kiihtyvyyslukemat ja aikaleimat tekstitiedostoon, josta niiden prosessointia voidaan jatkaa.

Sovellusta testattaessa huomattiin liian pienen viiveen lähetyksessä aiheuttavan vastaanottimen jumittumisen ja katkoksen mittaukseen. Sopivan viiveen valinta kuitenkin mahdollistaa tasaisen mittauksen. Mittauksessa tallennetaan myös suhteellinen aikaleima millisekunteina jokaiselle näytteelle. Aikaleiman ja mittaustuloksen yhdistelmä muodostaa aika/arvo pisteen. Näistä pisteistä voidaan muodostaa kuvaaja kiihtyvyydestä ja sitä kautta käytetystä voimasta ajan funktiona.

Näytteenottotaajuus ja näyteväli eivät siis ole vakioita. Tästä aiheutuu huojusta (jitter), joka luultavasti vaikuttaa siihen, kuinka tarkasti signaalille voidaan suunnitella suodatusta.

4.3 Chronos-version toteutus

Työn kuvaaman maksimivoiman nanoLOC-pohjaisen mittausjärjestelmän valmistumisen jälkeen myös Chronos-laitteita saatiin hankittua. Näillä toteutettiin vertailua ja mahdollisesti jatkokehitystä varten vastaava Chronos-pohjainen mittausjärjestelmä. Chronos-pohjaiselle järjestelmälle sovitettiin myöskin analogista

anturia varten kehitetty ohjelmisto. Molemmat laitteet olivat mukana luvussa 4.4 kuvatussa koejärjestelyssä.

Chronos-pohjaisen mittausjärjestelmän toteutus tehtiin tämän työn ulkopuolella. Työ suoritettiin työharjoitteluna tilaajalle ja työn tulokset ja dokumentit luovutettiin työnantajalle. Chronos oli vertailtavana toteutuksena tämän työn mittausvaiheessa.

4.4 Maksimivoimamittareiden testaus

Valmista nanoLOG-pohjaista mittausjärjestelmää testattiin yhdessä toisen digitaalisen langattoman järjestelmän (Chronos), vanhan analogisen järjestelmän ja koekäytössä olleen magneettipulssianturin kanssa. Mittausjärjestelmässä oli noin kaksi metriä korkea heiluri, johon kaikki kiihtyvyysanturit kiinnitettiin mahdollisimman hyvin toisiaan vastaaville kohdille. Mittaus käynnistettiin kaikilla laitteilla, heiluri siirrettiin aloitusasentoon ja sen annettiin heilua vapaasti muutaman kerran. Tämän jälkeen heiluri pysäytettiin ja mittaustulokset tallennettiin.

Eri antureiden antamat tulokset ovat eri muotoisia johtuen erilaisista tekniikoista. Niistä jokaisesta saatiin kuitenkin selkeä vaimenevan värähdysliikkeen kuvaaja.

4.5 Maksimivoimamittarin testitulokset

Tutkimalla kiihtyvyyslukemia ja näytevälejä nähdään, että valmistettu järjestelmä kykenee vertailukelpoisiin mittauksiin. Rajoittavia tekijöitä voivat olla radiotiestä johtuva vaihteleva näyteväli ja näytteenottotaajuus. Näiden vaikutus kuitenkin riippuu lopullisesta sovelluksesta.

Kiihtyvyysanturi ja radiopiiri vaikuttavat tarkoitukseen sopivilta. Kokeilemalla todettiin, että radion kantomatka kattaa helposti suurehkon huoneen ja riittää siis käyttötarkoitukseen. Kiihtyvyysanturin tarkkuus ja näytteenottotaajuus vastaavat tai ylittävät korvattavan järjestelmän vastaavat ominaisuudet.

Node voitaisiin luultavasti muokata käyttämään kevyempää virtalähdettä. Noden lähetin on jatkuvasti aktiivisena, kun laitteen virta on kytkettynä. Riippuen virtalähteestä sen viirankulutus voi osoittautua ongelmaksi. Laitteen käyttöliittymän ja radion toiminnallisuuden muokkaaminen pitäisi kuitenkin olla mahdollista. Ohjelmointimalli ja esimerkit ovat selkeitä. Järjestelmän oppimista tosin nopeuttaisi parempi dokumentaatio.

Tulevaisuudessa vastaanotin halutaan mahdollisesti kytkeä johonkin pienempään järjestelmään, johon USB-moduuli ei ole sopiva. Vastaanottimeksi kuitenkin on valittavissa ainakin muutama muu tyyppi, joten eri ratkaisut lienevät mahdollisia.

5 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli kehittää mittausjärjestelmä, joka kykenee mittaamaan ranteeseen kiinnitettävän laitteen hetkellisen kiihtyvyyden ajan funktiona. Järjestelmä toteutettiin käyttäen Nanotron Technologies GmbH:n (Nanotron) valmistamaa paikannuskäyttöön suunniteltua nanoLOC-radiojärjestelmää.

Mittausjärjestelmää testattiin ja verrattiin muihin vastaaviin toteutuksiin. Järjestelmän todettiin sopivan liikkeen mittaukseen. Järjestelmää on mahdollista jatkokehittää paremmin MST-käyttöön sopivaksi. Mahdollista on myös kehittää vastaavaa langaton digitaalinen mittausjärjestelmä käyttäen muiden valmistajien komponentteja.

Työn toteutus sujui kohtuullisen vaivattomasti. Työn suorituksessa havaittiin, että NanoLOC-järjestelmä on selvästi tarkoitettu enemmän paikannuskäyttöön. Tämän takia sen ohjeistus ei tarjoa paljoakaan ohjeita osien käytöstä muissa sovelluksissa. Esimerkkiohjelmien lähdekoodi on kuitenkin kiitettävän selkeää ja ymmärrettävää.

Kilpaileva Chronos-pohjainen järjestelmä osoittautui tarkoitukseen paremmin sopivaksi. Hyvinvointiteknologian tutkimus- ja tuotekehityskeskus jatkaa maksimivoimamittarin kehitystä edelleen. Kehityksen seuraavassa vaiheessa käytetään lähtökohtana Chronos-pohjaista mittausjärjestelmää.

Mahdollisuus kehittää samaan tarkoitukseen kaksi vaihtoehtoista ratkaisua oli kiinnostava. Hyvin erilaisten vaihtoehtojen yksiselitteinen vertailu on vaikeaa tai mahdotonta. Toteutusten toiminta kuitenkin viittaa siihen, että luultavasti ongelma on ratkaistavissa hyvin monella tavalla ja maksimivoimamittaria varten voidaan valita loppusovelluksen ja kehitystyön kannalta edullisin vaihtoehto.

LÄHTEET

1. Hannula, Manne – Rontu, Jari-Pekka – Jauhiainen, Jukka. 2007. Prediction of one repetition maximum weight lifting with multilinear regression model. Proceedings of the Fifth IASTED International Conference on Biomedical Engineering. Innsbruck: IASTED, 2007.
2. Hannula, Manne – Hamäläinen, Timo – Kylen, Lasse – Moisala, Jukka – Jauhiainen, Jukka. 2006. Applicability of Triaxial Accelerometer for Energy Expenditure Calculation in Weight Lifting. Saatavissa: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=04068419> Hakupäivä 2.11.2010.
3. Hannula, Manne – Hinkula, Henry. Laitteiston esittely. 27.4.2010.
4. Maksimivoimateknologia. 2010. Saatavissa: http://www.oamk.fi/~manneha/maksimivoima_edit/etusivu_edit.html. Hakupäivä 2.11.2010.
5. Hyvinvointiteknologian tutkimus- ja tuotekehityskeskus HYTKE. 2010. Saatavissa: <http://www.bme.oulu.fi/research.php?src=company&sid=00022>. Hakupäivä 2.11.2010.
6. Säisä, Niko 2010. Etäisyyden mittaus CSS-tekniikalla. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu. Insinöörityö.
7. Alavesa, Ari 2008. Lyhyen kantaman radiopaikannus CSS-tekniikalla. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu. Insinöörityö.

8. Product brief for Nanotron nanoLOC Development Kit. 2010. Saatavissa: http://www.nanotron.com/EN/pdf/Factsheet_nanoLOC-Dev-Kit.pdf. Hakupäivä 2.11.2010.
9. EZ430-Chronos (TI Wiki). 2010. Saatavissa: <http://processors.wiki.ti.com/index.php/EZ430-Chronos>. Hakupäivä 2.11.2010.
10. Albus, Zack – Valenzuela, Adrian – Buccini, Mark 2009. Ultra-Low Power Comparison: MSP430 vs. Microchip XLP Tech Brief. Saatavissa: <http://focus.ti.com/lit/wp/slay015/slay015.pdf>. Hakupäivä 16.5.2011.
11. CC430F6137. 2010. Datalehti. Saatavissa: <http://www.ti.com/lit/gpn/cc430f6137>. Hakupäivä 5.4.2011.
12. MinGW.org, home of the MinGW, MSYS and mingwPORT Projects. 2010. Saatavissa: <http://www.mingw.org/>. Hakupäivä 25.5.2011.
13. WinAVR. 2010. Saatavissa: <http://winavr.sourceforge.net/>. Hakupäivä 25.5.2011.
14. Package: mingw32 (4.2.1.dfsg-2). 2010. Saatavissa: <http://packages.debian.org/squeeze/mingw32>. Hakupäivä 25.5.2011.
15. Package: gcc-avr (1:4.3.5-1 and others). 2010. Saatavissa: <http://packages.debian.org/squeeze/gcc-avr>. Hakupäivä 25.5.2011.